

Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Aspectos Conceituais

Marllus G.F.P. das Neves

Universidade Federal de Alagoas – UFAL

marllus2002@yahoo.com.br

Carlos E. M. Tucci

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

tucci@iph.ufrgs.br

Recebido: 09/07/07 – revisado: 29/04/08 – aceito: 31/07/08

RESUMO

O desenvolvimento sustentável passa pela gestão integrada dos serviços e dos condicionantes urbanos dentro da chamada Gestão Integrada dos Recursos Hídricos Urbanos. A coleta e disposição final dos sólidos totais gerados nas cidades estão entre os principais serviços urbanos que podem levar a impactos negativos nos meios receptores. Esses resíduos são gerados pelo homem através do lixo urbano e das modificações da superfície urbana com o desmatamento e o aumento do potencial erosivo, gerando sedimentos e restos de vegetação. Neste artigo são apresentados estudos que tentam caracterizar os tipos de resíduos cuja produção afeta o sistema de drenagem urbana. São mostrados resultados de pesquisas em diversos países, tanto no que diz respeito à quantidade quanto à composição. Faz-se também um relato das medidas de controle pesquisadas recentemente, destacando-se as estruturas de retenção.

Palavras chave: drenagem urbana; resíduos sólidos; gestão integrada.

IMPACTOS NAS ÁGUAS URBANAS

O desenvolvimento urbano envolve a implementação de infra-estrutura de abastecimento de água, coleta e tratamento do esgoto, drenagem urbana, coleta e disposição de resíduos sólidos e limpeza pública. A sua gestão inadequada é uma das causas da perda de qualidade de vida e dos impactos ambientais crescentes nas cidades, sobretudo nos países em desenvolvimento.

Os componentes citados possuem uma forte interface entre si, impelindo o desenvolvimento urbano com base na gestão integrada. Os problemas são integrados, apesar do mesmo não ocorrer com a gestão, pois grande parte dos problemas está relacionada com a forma setorial como a mesma é realizada (Tucci, 2002). Como afirma Pompêo (2000), o planejamento de atividades urbanas relacionadas à água deve estar vinculado ao próprio planejamento urbano, integrando a gestão de recursos hídricos e o saneamento ambiental. Isto se torna mais difícil nos países em desenvolvimento porque o desenvolvimento urbano acontece sob condições sócio-econômicas, tecnológicas e climáticas mais difíceis (Silveira, 2001). Esses países experimentam uma

urbanização acelerada, mais em suas periferias do que em suas regiões centrais (Tucci, 2002). Somam-se a isto, problemas de arranjo institucional e de financiamento do sistema (Baptista e Nascimento, 2002).

Nesse contexto, o lixo compõe o segundo estágio de produção de sólidos totais em uma bacia hidrográfica urbana, ocorrendo em áreas de ocupação consolidada Tucci (2002). O efeito deste poluente na drenagem urbana é citado em diversos trabalhos de forma secundária desde a década de 1970 (Schueler, 1987), sendo poucos os trabalhos de quantificação direta nos cursos d'água urbanos. Na década de 1990, vários trabalhos apareceram, sobretudo em países em desenvolvimento. No Brasil, há recentemente uma busca mais acentuada por parâmetros que caracterizem e quantifiquem o lixo na drenagem urbana (Armelin, 2005; Brites, 2005; Jaworowski et al., 2005; Neves, 2006 e Jaworowski, 2008).

SÓLIDOS TOTAIS

Os sólidos totais podem ter duas origens principais: (a) resíduos de usos da população; (b)

sedimentos, vegetação, pedras, entre outros, gerados pela energia da precipitação através da erosão e do transporte pelo escoamento. Neste artigo são observados os primeiros, cujo total num determinado período é obtido pelo seguinte:

$$R_t = C + L + D \quad (1)$$

onde R_t é o total de resíduo sólido em uma unidade urbana como a bacia hidrográfica, num determinado tempo; C é o total coletado nas residências e estabelecimentos; L é o total limpo dos logradouros públicos; D é o total que alcança no sistema de drenagem, levado pelo escoamento.

A gestão pública deve procurar ser mais eficaz nos dois primeiros membros da parte direita da equação 1, minimizando o terceiro termo devido ao maior custo de coleta no sistema de drenagem e o impacto ambiental. A eficácia depende da educação da população, da cobertura da rede de coleta domiciliar e sua frequência, da frequência e eficiência da limpeza das ruas, da programação eficiente quanto à limpeza antes dos dias chuvosos, da gestão de resíduos de construções, entre outros.

Coleta

As estatísticas de produção de resíduos sólidos referem-se geralmente ao primeiro termo da equação 1, caracterizado em $\text{kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$. Este valor, que representa o que é coletado e não o que permanece nas ruas ou atinge o sistema de drenagem, varia com a renda da população, sazonalidade, verticalização, características regionais, entre outros (Mercedes, 1997; Reis et al., 2002). No Brasil o valor médio é de $0,74 \text{ kg}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ (IBGE, 2002). A dinâmica dos resíduos sólidos gerados também depende do tipo e seu valor econômico de reciclagem. Por exemplo, resíduos de alumínio têm alto valor agregado, enquanto os plásticos estão em evolução, aumentando a sua reciclagem em função da coleta seletiva e do tipo de plástico. Ao longo das últimas décadas houve aumento deste item na composição dos resíduos, mas a matéria orgânica ainda representa a maior parcela.

Limpeza urbana

Existe pouca informação sobre os totais deste serviço. Apesar disso, trata-se da componente de maior relação com a rede de drenagem, pois os resíduos aqui estão mais suscetíveis de atingi-la. Os seus valores dependem da frequência e eficiência na limpeza e da educação dos moradores. Geralmente,

as áreas comerciais têm varrição diária; nas residenciais, há grande variação (ICNZT, 1996, Allison et al., 1998, Arnold e Ryan, 1999). Segundo Armitage (2001) apud Marais e Armitage (2004), a varrição diária pode remover mais de 98% do lixo presente nas ruas. Os autores mostraram que, quando a razão entre o número médio de dias entre varrição e o número médio de dias entre chuvas significativas é 1, a eficiência é de apenas 50%.

Na rede de drenagem

Esta é outra parcela com pouca informação, quando comparada com o termo C da equação 1. A gestão dos resíduos deve conhecê-la, bem como caracterizá-la. Na tabela 1 é apresentada uma síntese de valores de resíduos sólidos que atingem o sistema de drenagem. Os valores foram estimados em diferentes experimentos. O total pode ser expresso em volume ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) ou em massa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$).

Na tabela 2 está a caracterização do tipo de resíduo encontrado em cada estudo identificado. As referências não permitiram unificar a tabela, devido à não-uniformidade das informações encontradas. Contudo, percebem-se grandes quantidades de plásticos. Em Auckland (ICNZT, 1996), os dois primeiros períodos de coleta revelaram uma grande quantidade de plástico rígido (74,2%), restos de cigarros e papel. A área residencial contribuiu com somente 5,6% do total de itens coletados. Na área comercial, houve alguma ocorrência de fragmentos de plástico rígido porque há vias de passagem de caminhões para a indústria.

Na Cidade do Cabo (Arnold e Ryan, 1999), o plástico compôs de 15 a 57% dos resíduos em massa, predominando nas áreas comerciais e industriais. A contribuição de material proveniente de veículos foi grande na área residencial, segundo os autores. Na Austrália os dados mencionam o total, com predominância de sedimentos e folhagem. Os valores nas tabelas podem atingir até $82 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. A comparação entre os valores com a produção residencial não pode ser realizada porque não existem dados da população e mesmo que houvesse a produção de resíduos está mais relacionada com o número de pessoas que transitam.

Bacias-piloto da Cidade do Cabo

Um trabalho abrangente foi o realizado por Marais et al. (2004), na Cidade do Cabo com 9 bacias-piloto de uso do solo e condições socioeconômicas diferentes. O período de monitoramento foi de 2 anos, divididos em duas etapas: fevereiro a setem-

bro de 2000 e fevereiro de 2001 a janeiro de 2002. O intervalo entre as duas serviu para avaliações e definições de estratégias para a continuação do monitoramento com cestas nas entradas de bocas-de-lobo e redes nos pontos finais dos condutos de saída das bacias. As cargas, excluindo areia, resíduos de construção civil, pedras e vegetação, são mostradas na tabela 3, juntamente com as características das bacias. As principais conclusões dos autores foram:

- Aumento da contribuição de plástico na carga entre 2000 a 2001;
- Quanto maior a renda, menores as cargas, na área residencial. A diferença entre cargas absolutas atingiu 7 vezes, mas as cargas por habitante 2 vezes. Isto pode ser resultado da tendência de decréscimo da densidade populacional com o aumento da renda média;
- Os plásticos se sobressaíram entre os tipos em todas as bacias, com exceção de Summer Greens e Welgemoed.

Dentro do contexto da mesma pesquisa, Marais et al. (2004) compararam os resultados entre diversos estudos anteriores realizados. Segundo os autores, enquanto os plásticos contribuíram na faixa de 19 a 50% na Cidade do Cabo, em Coburg a faixa foi entre 33 e 60%.

A carga anual para as bacias-piloto de uso residencial variou entre 0 e 72 kg $ha^{-1}ano^{-1}$. Retirando Imizamo Yethu e Ocean View, a faixa cai para 0 a 6 kg $ha^{-1}ano^{-1}$. Em Auckland, o resultado foi de 0,5 kg $ha^{-1}ano^{-1}$ (Cornelius et al., 1994) para a área residencial, enquanto que o estudo de Arnold e Ryan (1999) apresentou 4 kg $ha^{-1}ano^{-1}$. Nas áreas comerciais, Marais et al. (2004) obtiveram valores entre 42 e 111 kg $ha^{-1}ano^{-1}$ em 2000 e entre 23 e 59 kg $ha^{-1}ano^{-1}$ em 2001. Em Springs, Armitage et al. (1998) mostram 82 kg $ha^{-1}ano^{-1}$ e em Auckland 13 kg $ha^{-1}ano^{-1}$.

Pesquisas no Brasil

Trabalhos começam a apresentar resultados no Brasil. Brites (2005) estudou duas bacias hidrográficas urbanas, no município de Santa Maria-RS: a bacia Cancela e a Alto da Colina, ambas no período de abril a dezembro de 2004. A primeira apresenta área de 4,95 km², com 56% de área urbana. A segunda, com 3,34 km², possui 22,3% da área urbanizada e 77,7% rural. As coletas foram realizadas após cada evento de precipitação, onde o resíduo retido foi quantificado em peso, volume e classificado em

função da composição: matéria orgânica e matéria inorgânica.

Os resultados estão nas tabelas 1 e 2. Segundo a autora, na bacia Cancela a matéria orgânica compôs-se de folhas, caules, raízes e madeira processada, por causa da vegetação de grande porte existente nas margens do riacho. Quanto aos plásticos, os principais constituintes foram sacolas de supermercado. Na bacia Alto da Colina, o material orgânico apresentou 62,9% do volume total com predominância de folhas e caules de médio porte. As margens do corpo d'água são cobertas por vegetação de grande porte. O material plástico compôs 29% do volume total, sendo os principais constituintes sacolas de supermercado e garrafas PET.

Fazendo uma comparação entre as duas bacias, Brites (2005) afirma que ambas apresentaram maiores quantidades de plástico composto basicamente de garrafas PET e sacolas. A bacia Alto da Colina apresentou mais plástico em sua composição do que a bacia Cancela por causa do material que permanece retido na vegetação desta. A quantidade de isopor encontrada na bacia Cancela, 17,1%, foi mais significativa que no Alto da Colina, 3%, devido a maior contribuição de áreas comerciais, onde o material é muito utilizado para proteção de eletrodomésticos.

Armelin (2005) estimou os resíduos sólidos que atingem o reservatório de detenção da bacia do córrego Bananal, afluente do córrego Cabuçu de Baixo. O reservatório está localizado no trecho final do córrego Bananal, no Jardim Vista Alegre–Distrito Brasilândia do município de São Paulo. A partir dos seguintes dados: (a) coleta de lixo na bacia no período de set/2003 a ago/2004; (b) população que conta com a coleta de lixo executada pelas subprefeituras; (c) dados dos setores censitários do IBGE.

Admitindo algumas hipóteses, que, segundo a autora, permitem um resultado que significa o valor mínimo a ser determinado, a carga resultou no valor 194.042 kg ano^{-1} , obtido multiplicando-se o número de domicílios que lançam o lixo nos corpos da água pela taxa de ocupação do domicílio, pela taxa de produção de lixo por habitante por dia desta bacia, estimada em 0,83 kg $hab^{-1}dia^{-1}$. O valor de 194.042 kg ano^{-1} equivale então a 138 kg $ha^{-1}ano^{-1}$, sendo maior que os verificados na África do Sul.

Jaworowski (2008) realiza uma pesquisa com monitoramento qualitativo e de resíduos sólidos em um riacho urbano na cidade de Viamão-RS, com alguns resultados parciais já publicados (Jaworowski et al., 2005). A bacia hidrográfica tem aproximadamente 0,82 km² e está inserida na bacia hidrográfica do Arroio Mãe d'Água, a qual, por sua vez, é inte-

grante da bacia do Arroio Dilúvio. A bacia apresenta densidade habitacional elevada, o arroio é praticamente desprovido de sua mata ciliar e permeia lotes residenciais, praticamente todos urbanizados. O riacho recebe grandes volumes de resíduos sólidos, os quais são dispostos em suas margens e carregados para o seu leito durante os eventos de precipitação.

Os resíduos sólidos são coletados em uma armadilha projetada e construída no local para essa finalidade, consistindo de placas orientadoras que direcionam os resíduos transportados para uma gaiola de captação de 3,5m³. Esta é basculada com o auxílio de uma talha mecânica e esvaziada periodicamente. Para o assentamento da armadilha no arroio, canalizou-se um trecho de 10 metros, com largura de 1m antes e depois da gaiola e de 2 m no local onde esta é disposta.

A quantificação e a caracterização dos resíduos sólidos são feitas em local pavimentado e coberto, ao lado da armadilha. Após onze medições, observa-se que os valores médios de resíduos sólidos capturados na armadilha foram de 295 kg e 1.075 L, sendo capturados somente durante os eventos de precipitação. A autora ainda não compilou todos os resultados conforme os padrões mostrados nas tabelas deste artigo. Os resultados obtidos indicam que, as maiores quantidades são de matéria orgânica e madeira, seguidos dos plásticos rígido e mole, destacando-se ainda os calçados e os grandes volumes de isopor. As pequenas quantidades coletadas de PET e de alumínio estão relacionadas ao valor comercial que esses materiais adquiriram nos últimos anos, sendo por isso, coletados pelos “catadores” antes de chegarem ao arroio, ou mesmo separados pelos próprios geradores do resíduo, para venda.

GESTÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS

A gestão dos sólidos envolve ações de minimização do total gerado. As questões apresentadas enfocam a importância de se medir as cargas de resíduos com o objetivo de reduzi-las. A redução, por sua vez, pode ser feita através de dois tipos de medidas (Allison et al, 1998): medidas estruturais, com a implantação das armadilhas ou estruturas de retenção; e medidas não-estruturais, envolvendo mudanças de atitude da comunidade (incluindo o comércio, a indústria e os residentes). As medidas não-estruturais e preventivas quanto à geração dos resíduos relacionados aos três membros da equação 1 podem ser direcionadas no sentido de melhorar nos serviços urbanos, regular os empreendimentos com

atuação no controle da implementação de construções urbanas e criar mecanismos para redução das fontes de produção de resíduos, tratando do aumento da reciclagem e obtenção do valor econômico dos resíduos, educação e incentivos à separação seletiva, entre outros. Alguns países eliminaram o uso de sacolas de plástico para supermercados.

MEDIDAS ESTRUTURAIS DE CONTROLE

As medidas estruturais no sistema de drenagem atuam sobre as conseqüências. Na década de 1990 foram propostas estruturas de retenção, cuja evolução é apresentada na tabela 4 (Armitage et al, 1998). Na África do Sul, os testes focaram dois grupos, sendo o de maior êxito o das autolimpantes.

Estruturas autolimpantes

Nestas, a água empurra o resíduo, limpando o segregador (tela ou grade). O resíduo é desviado para um local de acumulação, onde a frequência de limpeza é menor. Alguns exemplos se destacam, como a SCS (*Stormwater Cleaning Systems*), utilizada em Springs, cuja função é forçar o escoamento sobre o vertedor e um gradeamento inclinado em aproximadamente 45° em direção a um compartimento (Figura 1). Como vantagens (Armitage et al., 1998): a estrutura suporta vazões altas, apresenta manutenção desprezível, é fácil de limpar, é relativamente segura para o público e trabalhadores, entre outras vantagens. Como desvantagens: requer carga hidráulica alta e, em geral, uma grande área do terreno cercada (Armitage et al., 1998).

Outra estrutura, chamada CDS (*Continuous Deflective Separation*), destaca-se pela eficiência de quase 100%. Foi utilizada em Coburg, subúrbio de Melbourne, Austrália (Armitage et al., 1998, Allison et al, 1998). Segundo os autores, este dispositivo é instalado sob o solo, requerendo uma área entre 10 e 20 m². A estrutura desvia o escoamento e poluentes associados para um compartimento de separação, como mostrado na Figura 2. Este consiste em um reservatório na parte inferior e uma seção de separação na parte superior. A água e os poluentes são mantidos em movimento contínuo, evitando o bloqueio da placa perfurada. Os sólidos mais pesados sedimentam, assim como grande parte do material leve. O material flutuante acumula-se na superfície da água.

Tabela 1 - Resumo de quantificações de resíduos sólidos em sistemas de drenagem urbana

Local	Descrição	Peso kg ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Volume m ³ ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Fonte
Springs, África do Sul	Central Business District; área de 299 ha com 85% de uso comercial/industrial e 15% de uso residencial; 82,5% é limpo das ruas e 17,5% vai para o sistema de drenagem	82	0,86	Armitage et al. (1998)
Joanesburgo	Distrito Central, com 8 km ² , área residencial, comercial e industrial	48	0,5	idem
Auckland, Nova Zelândia	Residencial Industrial Comercial	5,22 1,03 2,20	0,054 0,011 0,023	Cornelius et al, 1994
Cidade do Cabo, África do Sul	Área com 90% residencial, 5% comercial, e 5% industrial. Os autores não informaram a área, estimando para a região metropolitana.	18	0,189	Arnold e Ryan, (1999)
Melbourne, Austrália	1. 50 ha de área com 35% de área comercial e 65% residencial 2. **Dois eventos diários, área residencial-comercial 15,8 ha residencial – 20,2 ha industrial leve – 2,5 saída da bacia total	6* 0,116 e 0,410 0,34 e 0,127 0,162 e 0,020 0,077 e 0,163	0,02*	Allison et al, 1998
Sydney, Austrália	Área comercial, industrial e comercial com 322,5 ha.	1,81*	0,019*	Brownlee, 1995 apud Armitage et al. (1998)
Bacia Canela, Santa Maria/RS	Área de 4,95 km ² , com 56% de área urbana e 35% de sua área total impermeabilizada.	1,47*	0,01*	Brites (2005)
Bacia Alto da Colina, Santa Maria /RS	Área de 3,34 km ² , sendo 22,3% área urbana e 77,7% rural.	0,91*	0,01*	Idem
Bacia do córrego Bananal, São Paulo	Em processo final de urbanização, com 13% da população residente assentada em habitações subnormais, nas margens dos córregos.	138		Armelin (2005)

*os autores fizeram os cálculos sem vegetação e sedimentos; ** eventos diários, a unidade é de kg/ha por dia do evento.

Segundo Allison et al. (1998), no estudo realizado em Coburg, praticamente todo material de dimensões superiores a 5 mm foi retido no compartimento de separação durante o período de monitoramento. As vantagens são (Armitage et al., 1998): porcentagem alta de remoção, o sistema de drenagem somente é bloqueado se a unidade estiver completamente preenchida, manutenção mínima, pode ser localizada em qualquer lugar no sistema de

drenagem e é efetiva em vazões altas. Um sistema de *by-pass* é projetado para minimizar a inundação a montante. As desvantagens principais (Armitage et al., 1998): custo de capital muito alto, custo alto de aquisição de veículo especial para a coleta na unidade, pode requerer uma extração anual de sedimentos alta, entre outras. Isso tudo restringe seu uso em áreas onde o solo tenha valor muito alto e haja espaço limitado.

Tabela 2 - Resumo da composição dos resíduos sólidos em sistemas de drenagem urbana

Local	Plásticos	Outros
Springs	62%	Poliestireno 11%, latas 10%, papel 10%, vidros 2%, 5% outros
Joanesburgo	80% do lixo domiciliar	Sedimentos, lixo domiciliar e grandes objetos como pneus de trator
Auckland	65,4%	3,3% alumínio, 26,8% papel/papelão, 0,5% lata/aço, 0,3% vidro e 3,5% outros
Cidade do Cabo	> 50%	Metal, madeira, borracha, principalmente
Melbourne		90% de vegetação e restante lixo de pessoas em trânsito. Sem especificar números, gráficos mostram grande quantidades de papel, plásticos, vidros e metais nos eventos verificados.
Sydney		62% sedimentos, 33% folhas e gramíneas e 5% lixo
Bacia Cancela, Santa Maria/RS	14,7%	71,5% de matéria orgânica, 0,4% metal, 4,9% isopor, 0,7% vidro e 7,8% outros do volume total quantificado.
Bacia Alto da Colina, Santa Maria/RS	29%	62,9% matéria orgânica, 1,3% metal, 1,1% isopor, 0,8% vidro e 5% outros
Viamão-RS (média entre 11 eventos)	11%	48% matéria orgânica, 29% de madeira, 9% isopor e 13% outros

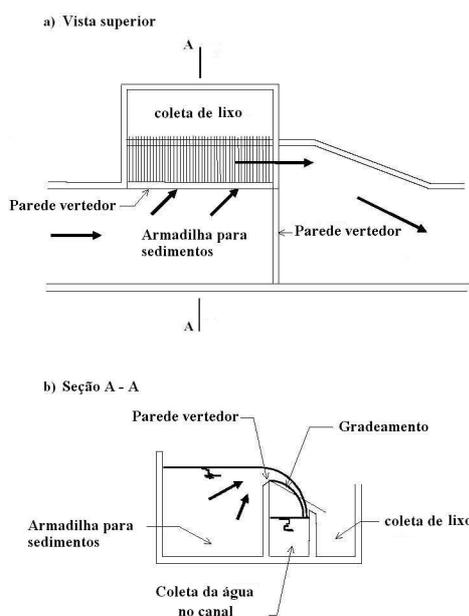


Figura 1 - SCS. (Adaptado: Armitage et al., 1998).

Outros dispositivos

As cestas acopladas a entradas de bocas-de-lobo são úteis no processo de monitoramento e gerenciamento integrado resíduos sólidos - sistema de drenagem urbana. Utilizadas em Melbourne, Austrália com o nome SEPT (*Side-Entry Pit Trap*), possuem malha entre 5 e 20 mm, com remoção do lixo a cada

4 ou 6 semanas (Allison et al., 1998). As vantagens são (Melbourne Water Waterways and Drainage Group, 1995 apud Armitage et al., 1998): rápido e fácil de limpar; facilmente integrada no programa de manutenção das captações de água pluvial, remove-se facilmente a cesta para manutenção, útil na identificação de fontes como parte de um programa de gerenciamento da bacia, entre outros. As desvantagens são: uso de aspirador especial de custo alto, tampas das captações pesadas, grande número de unidades requeridas.

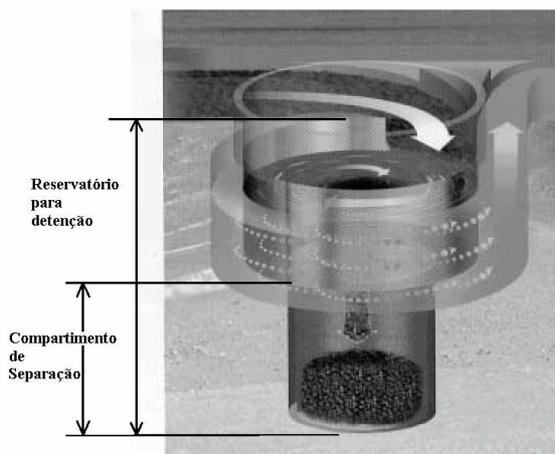


Figura 2 - Estrutura CDS (Armitage et al., 1998).

Tabela 3 - Resumo da quantificação de resíduos no sistema de drenagem, na Cidade do Cabo (MARAIS et al., 2004)

Cargas anuais de lixo (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)				
Nome da Bacia	Descrição	Período de observação		
		2000	2001	2000/2001
Imizamo yethu	Residencial informal com população muito pobre e sem varrição nas ruas	59	40	45
Ocean View	Residencial com população pobre e sem varrição nas ruas. Presença de condomínios com apartamentos de 3 andares e com densidade habitacional (DH) em torno de 60 hab/ha	72	19	41
Cidade do Cabo CBD (C)	Centro comercial da cidade, com prédios de escritórios, hotéis, lojas, comércio informal, terminal de ônibus. Ruas varridas até 3 vezes ao dia com eficiência de remoção de aproximadamente 99%	42	14	23
Cidade do Cabo CBD (D)		46	10	22
Cidade do Cabo CBD (E)		111	35	59
Fresnaye	Residencial com apartamentos e população de maior poder aquisitivo e DH inferior a 20 hab/ha	-	0	0
Summer Greens	Residencial com população de classe média e sem varrição nas ruas. DH superior a 55 hab/ha	6	6	6
Montague Gardens	Indústrias leves e sem varrição das ruas	51	14	28
Welgemoed	Residencial com população de renda alta e sem varrição nas ruas. DH em torno de 15 hab/ha	0	0	0

Um estudo sobre a eficiência das cestas foi feito na Austrália (Allison et al., 1998), em uma bacia de 50 ha, com os usos do solo residencial, comercial e industrial leve. Colocadas em todas as entradas da rede, resultou em 192 pontos de coleta. O resíduo que passou foi retido por uma outra estrutura no final da bacia. Os resultados indicaram que é possível implantar esse tipo de estrutura em cerca da metade das bocas-de-lobo e capturar cerca de dois terços de resíduos sólidos secos e metade dos resíduos totais. As bocas-de-lobo sem a grade contribuíram com o dobro das cargas em relação àquelas com grades.

Outras medidas são as redes nos finais dos condutos. As utilizadas na Nova Zelândia, em 1994, eram feitas com telas de arame para diâmetros de 0,3 m a 0,85 m e comprimento de pelo menos 3 vezes o diâmetro (Cornelius et al., 1994). Em 1996, foram de polipropileno (ICNZT, 1996), com 1,9 m de diâmetro e 1,6 m de comprimento, e malha de 6 mm. As utilizadas na Cidade do Cabo em 1999 eram

de nylon, com as mesmas dimensões das utilizadas em 1996 em Auckland. Foram presas aos condutos com anéis de aço galvanizado de 500 mm de diâmetro e 10 mm de espessura, com cadeados para evitar roubos. A medida foi em vão, substituindo-se o aço por plástico (Arnold e Ryan, 1999), conforme Figura 3.

As redes são bastante utilizadas na análise de outras estruturas colocadas a montante ou dos efeitos de medidas não-estruturais (Endicott et al., 2002; Marais et al., 2004; Lippner et al., 2000; Lippner et al., 2001 e Syrek et al., 2003). Estudos de estruturas de retenção foram realizados em Los Angeles, Estados Unidos com ênfase na captura dos resíduos nas auto-estradas (Endicott et al., 2002).

A estrutura estudada por Jaworowski (2008) pode ser considerada autolimpante sem necessariamente precisar de grades desniveis como as SCS, por exemplo. Os custos de implantação ainda estão em compilação (Figura 4).

Tabela 4 - Evolução das estruturas de retenção de resíduos sólidos – primeiro grupo estudado (Armitage et al., 1998)

Variações	Esquema	Conclusões
UYS (1994) e Wilsenash (1994): canais laterais em conjunção com barreiras e vertedores		Acima de um valor crítico, a vortividade provocou a passagem das partículas para jusante. Turbulência alta no final da estrutura. Modificações posteriores deixaram-na complicada
Furlong (1995): estudou as barreiras suspensas		Mostrou pouca eficiência em vazões muito baixas. Lixo capturado mais pelos vórtices a jusante da barreira
Louw (1995) E Burger e Beeslaar (1996): estudos com telas inclinadas associadas a vertedores		A turbulência no alargamento diminui a eficiência. Configurações com maiores eficiências resultaram em grandes perdas de carga
Compion (1997): configurações que envolvessem vertedores e mudanças de seções, a partir das idéias anteriores		Captura completa conseguida para números de Froude (Fr) inferiores que 0,05. Nenhuma captura a partir de Fr igual a 0,3.



Figura 3 - Rede na Cidade do Cabo (Arnold e Ryan, 1999).

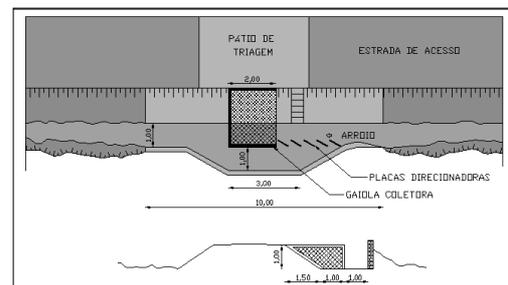
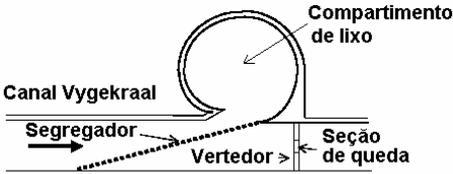
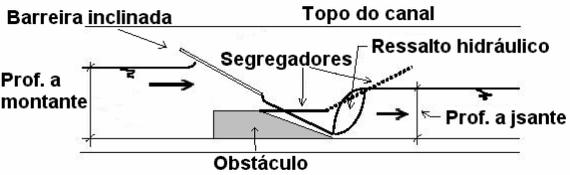


Figura 4 - Estrutura estudada por Jaworowski (2008)

Tabela 5 - Evolução das estruturas de retenção de resíduos sólidos – autolimpantes (Armitage et al., 1998)

Técnica	Esquema	Observações
<p>Visage (1994): desvio do lixo para um reservatório com hastes inclinadas a 11°, fluxo para o centro e para baixo a jusante</p>	 <p>Diagrama de um sistema de retenção de lixo. Um canal Vygekraal conduz o fluxo para um segregador. O fluxo é desviado para um compartimento de lixo através de um vertedor. Há uma seção de queda a jusante.</p>	<p>Aderência às hastes em vazões baixas ou em altas com lixo inicial. Em grandes concentrações, acúmulo nas hastes ou entre a extremidade de jusante destas e a parede do canal.</p>
<p>Watson (1996) e Compion (1997): rampa inclinada a jusante e segregador horizontal na direção do fluxo. Largura do canal após a rampa duas vezes a inicial. Continuação do segregador inclinado</p>	 <p>Diagrama de um sistema de retenção de lixo. Uma barreira inclinada desvia o fluxo para segregadores horizontais. Há um ressalto hidráulico e um obstáculo a jusante. A largura do canal aumenta após a rampa.</p>	<p>Efetiva em vazões altas ou com o nível de jusante alto. Problemas em longos períodos de vazões baixas por causa da deposição a montante. Observou-se aumento da presença de vórtices a jusante, ajudando a acomodação do lixo.</p>
<p>Beecham e Sablatnig (1994): modelaram 23 estruturas. As de melhores resultados são ilustradas ao lado, sendo o arranjo 23 considerado o mais efetivo</p>	 <p>Diagramas de seis arranjos de estruturas de retenção de lixo. Um símbolo indica o sentido do escoamento. Arranjo 12 (baixa declividade), Arranjo 13 (alta declividade), Arranjo 14 (alta declividade), Arranjo 15 (alta declividade), Arranjo 17 (baixa declividade), Arranjo 23 (alta declividade).</p>	<p>Maior potencial com barras horizontais; a inclusão de uma queda vertical dentro do arranjo reduz bastante a probabilidade de refluxo; e o armazenamento <i>off-line</i> do lixo disponibiliza área de armazenamento muito maior, cria menos perturbações no escoamento e possibilita um acesso muito melhor de limpeza e manutenção</p>

CONCLUSÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos implica em identificar seus componentes e atuar para reduzir a quantidade gerada. Para isto, as medidas estruturais utilizam dispositivos de retenção, com destaque para os autolimpantes e exigem, por vezes, recursos altos que inviabilizam sua utilização. Dessa forma, no Brasil, provavelmente este tipo de medida tenha mais utilidade em pequenos riachos, nas ca-

beceiras das bacias, no intuito de se capturar o mais próximo de algumas fontes. Cestas talvez não sejam viáveis a curto prazo, pois os órgãos de gestão de resíduos e drenagem urbana ainda encontram dificuldades tanto de manutenção do sistema quanto de definições a respeito do papel de cada setor na gestão. Contudo, pesquisas são possíveis, desde que em parcerias com instituições de pesquisas.

As medidas não estruturais demandam menores gastos e apresentam bons resultados. Aliado a isto, o estudo de bacias representativas urbanas é

importante na busca de parâmetros confiáveis. Relacionar as cargas a fatores socioeconômicos ajuda no entendimento dos processos de geração e despejo de resíduos.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida dentro do programa de doutorado do IPH – UFRGS com bolsa CNPq. Agradecimentos à Prefeitura Municipal de Porto Alegre, através do Departamento Municipal de Limpeza Urbana e do Departamento de Esgotos Pluviais.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, R.A., WALKER, T.A., CHIEW, F.H.S., O'NEILL, I.C. & MCMAHON, T.A. 1998. FROM ROADS TO RIVERS - *Gross pollutant removal from urban waterways*. Research Report for the Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Australia, 98 pp.
- ARMELIN, L. F. 2005. *A questão do acúmulo de resíduos sólidos em bacias de retenção urbanas na região metropolitana de São Paulo*. 128f. Dissertação (mestrado em engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ARMITAGE, N., ROOSEBOOM, A., NEL, C. e TOWNSHEND, P. 1998. *The removal of urban litter from stormwater conduits and streams*. Water Research Commission. Report No. TT 95/98, Pretoria.
- ARNOLD, G. e RYAN, P. 1999. *Marine Litter originating from Cape Town's residential, commercial and industrial areas: the connection between street litter and stormwater debris*. A co-operative community approach. Island Care New Zealand Trust, C/- Department of Geography, The University of Auckland, New Zealand. Percy FitzPatrick Institute, University of Cape Town.
- BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O. 2002. *Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 7, n.1. ABRH.
- BRITES, A. P. Z. 2005. *Avaliação da qualidade da água e dos resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana*. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.
- CORNELIUS, M.; CLAYTON, T.; LEWIS, G. ARNOLD, G. e CRAIG, J. 1994. *Litter associated with stormwater discharge in Auckland city New Zealand*. Auckland: Island Care New Zealand Trust.
- ENDICOTT, J. D., BERGER, B. J. e STONE, S. J. 2002. *Design and performance of non-proprietary devices for highways runoff litter removal*. Storm water program. CSUS Office of Water Programs. Disponível em: <http://www.owp.csus.edu/research/papers/papers/PP031.pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2006.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2002. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, PNSB, 2000*. Disponível em: <http://www.ibge.net/ibge/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>. Acesso em: 27 de março de 2002.
- ISLAND CARE NEW ZEALAND TRUST – ICNZT. 1996. *Reducing the incidence of stormwater debris and street litter in the marine environment: a co-operative community approach*. Auckland: Island Care New Zealand Trust.
- JAWOROWSKI, A. L. O. 2008. *Qualidade da água e caracterização de resíduos sólidos em arroio urbano*. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Tese (Doutorado em andamento em Engenharia).
- JAWOROWSKI, A. L. O., SCHETTINI, E. B. C., SILVEIRA, A. L. L. 2005. *Qualidade da água e caracterização de resíduos sólidos em arroio urbano da região metropolitana de Porto Alegre*. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa-PB
- LIPPNER, G., CHURCHWELL, R., ALLISON, R., MOELLER, G., JOHNSTON, J. 2000. *A scientific approach to evaluating Storm water Best Management Practices for litter*. Storm Water Program. CSUS Office of Water Programs. Disponível em: <http://www.owp.csus.edu/research/papers/papers/PP014.pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2006.
- LIPPNER, G., JOHNSTON, J., COMBS, S., KLIMBERLY, W., MARX, D. 2001. *Results of CALTRANS litter Management Study*. Storm Water Program CSUS Office of Water Programs. Disponível em: <http://www.owp.csus.edu/research/papers/papers/PP020.pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2006.
- MARAIS, M., ARMITAGE, N. e WISE, C. 2004. *The measurement and reduction of urban litter entering stormwater drainage systems: paper 1 – Quantifying the problem using the city of Cape Town as case study*. Water SA. No. 4. Vol. 30. Disponível em: www.wrc.org.za. Acesso em 05 de setembro de 2006.
- MARAIS, M. e ARMITAGE, N. 2004. *The measurement and reduction of urban litter entering stormwater drainage systems: paper 2 – Strategies for reducing the litter*

- in the stormwater drainage systems.* Water SA. No. 4. Vol. 30. Disponível em: www.wrc.org.za. Acesso em 05 de setembro de 2006.
- MERCEDES, S. S. P. 1997. *Perfil da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte no ano de 1995.* 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu: ABES.
- NEVES, 2006. *Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana.* Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Tese (Doutorado em Engenharia).
- POMPÊO, 2000. *Drenagem Urbana Sustentável.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5, n.1. ABRH.
- REIS, M. F. P.; ELLWANGER, R. M.; PESCADOR, F. S.; CO-TRIM, S. L.; REICHERT, G. A. e ONOFRIO, E. T. (2002). *Estudos preliminares para caracterização dos resíduos sólidos domiciliares do município de Porto Alegre.* VI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos: R.S.U. especiais. Gramado: ABES.
- SILVEIRA, A. L. L. 2001. *Problems of urban drainage in developing countries.* In: International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage, 1, 2001, Lyon. Novatech, p. 143-150.
- SCHUELLER, T. 1987. *Controlling Urban Runoff: a Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.* Washington: Metropolitan Washington Council of Governments. 229p.
- SYREK, D. B., KAYHANIAN, M., MEYER, S. 2003. *A regression model to predict litter in urban freeway outfalls after rainstorms.* Storm water program CSUS Office of Water Programs. Disponível em: <http://www.owp.csus.edu/research/papers/papers/PP047.pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2006.
- TUCCI, C. E. M. 2002. *Gerenciamento da Drenagem Urbana.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 7, n.1. ABRH.
- dues whose production affects the urban drainage system. Also, it shows the results of research in several countries to quantify and characterize the litter that reaches the urban drainage system as well as structural measures to control the loads.*
- Key-words: urban drainage; solid wastes; integrated management.*

Solid Wastes in Urban Drainage: Conceptual Aspects

ABSTRACT

Sustainable development includes integrated management of services and other urban factors in the Integrated Management of Urban Water Resources. The collection and final disposal of total solids generated in the cities are among the main urban services that may produce negative impacts in the receiving medium. The solids are generated by man through urban garbage and modifications of the urban surface with deforestation and increased erosive potential, generating sediments and remains of vegetation. In this paper are characterized the types of resi-